

ANALISIS PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP PERFORMA JOURNAL BEARING DENGAN FLUIDA NEWTONIAN MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

*Rizky Dwi Ramdani, Mohammad Tauvqiirrahman², Budi Setiyana²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rizkyramdani20@gmail.com

Abstrak

Journal bearing adalah salah satu elemen mesin yang memiliki fungsi untuk menopang poros antara dua komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. *Journal bearing* seringkali diaplikasikan pada berbagai jenis industri dengan pembebanan dan kecepatan tinggi, dengan luasnya pengaplikasian *journal bearing* maka pengembangan pun dilakukan untuk meningkatkan performa pelumasannya. Beberapa hal yang menjadi fokus utama penelitian yang ada adalah peningkatan daya dukung beban dan juga mengurangi gaya gesek yang dihasilkan, namun hal lain yang harus diperhatikan adalah tingkat kebisingan yang dihasilkan saat pengoperasian dengan *analisis acoustic power level*.

Aliran pelumas pada *clearance* akan bergantung pada kondisi permukaan dari *journal bearing* tersebut, dan kondisi tersebut dihasilkan oleh proses manufaktur. Pada penelitian ini, kekasaran permukaan (K_s) menjadi nilai kekasaran permukaan pada ANSYS Workbench 20.2. Hal yang dipelajari adalah perbandingan performa dari *journal bearing* saat diberikan kekasaran permukaan dengan permukaan *smooth*. Pada penelitian ini menunjukkan hasil bahwa adanya pengaruh pemberian kekasaran permukaan terhadap performa *journal bearing* seperti kenaikan nilai *load carrying capacity*, penurunan *friction force*, dan juga penurunan *acoustic power level*.

Kata kunci: *average acoustic power level; friction force; load carrying capacity; newtonian; surface roughness*

Abstract

Journal bearing is one of the machine elements that has a function to support the shaft between two machine components so that it always moves in the desired direction. *Journal bearings* are often applied to various types of industries with high loading and speed, with the wide application of *journal bearings*, development was carried out to improve their lubrication performance. Some of the main focuses of existing research are increasing *load carrying capacity* and also reducing the *friction force* generated, but another thing that must be considered is the noise level generated during operation with *acoustic power level analysis*.

The lubricant flow in the *clearance* will depend on the surface condition of the *journal bearing*, and the condition is produced by the manufacturing process. In this research, the surface roughness (K_s) becomes the surface roughness value in ANSYS Workbench 20.2. What is studied is a comparison of the performance of the *journal bearing* when given a surface roughness with a *smooth surface*. This study shows that there is an effect of providing surface roughness on the performance of *journal bearings* such as an increase in the value of *load carrying capacity*, a decrease in *friction force*, and also a decrease in *acoustic power level*.

Keywords: *average acoustic power level; friction force; load carrying capacity; newtonian; surface roughness*

1. Pendahuluan

Journal bearing adalah elemen mesin yang biasa digunakan pada industri *turbomachinery* dimana itu membutuhkan dukungan untuk mesin berkecepatan putar tinggi seperti *blower*, turbin uap, kompresor gas, pompa, dan *internal combustion engine* [1] [2] [3] dimana mesin rotor dinamis ini dirancang untuk berputar dalam kecepatan putar yang sangat tinggi[4]. Pada penggunaan *bearing* akan selalu ditemui pelumas yang biasanya berupa oli, penerapan pelumas umumnya

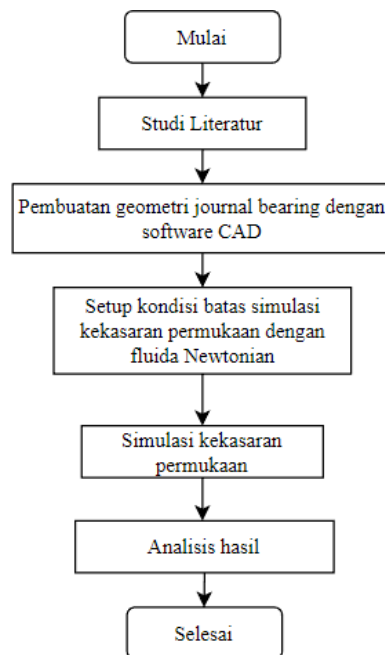
berkontribusi pada peningkatan penghematan energi dan masa pakai peralatan mekanis dengan mengurangi gaya gesek antar baja-baja dan juga mengurangi kemungkinan terjadinya korosi dimana hal tersebut sangat penting untuk menjaga umurnya [5] [6] [7]. Adanya pelumas ini menjadi sangat penting karena dalam kondisi kerjanya, *bearing* akan menerima beban dinamis yang berkelanjutan yang tentu akan mempengaruhi daya tahan, dan jika terjadi pelumasan yang buruk akan memperparah degradasi yang terjadi [8]. Dalam pengembangannya, kehalusan permukaan memegang peranan yang sangat penting dalam perancangan suatu komponen mesin, terutama ketika berhadapan dengan masalah gesekan, pelumasan, keausan, durabilitas, dll. Namun dalam praktiknya, tidak mungkin mendapatkan komponen dengan permukaan yang benar-benar halus. Karena setiap permukaan yang telah melalui proses permesinan mengalami kekasaran permukaan tertentu. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti faktor manusia (operator) dan faktor mesin yang digunakan untuk memproduksi seperti pada proses *grinding*. Proses *grinding* mempengaruhi tingkat kekasaran (*roughness*) pada permukaan bagian luar maupun dalam pada *bearing* yang akan berefek sangat besar pada performa elemen mesin ini.

Penelitian sebelumnya oleh Tauviquirrahman dkk. [9] menginvestigasi akustik dan termal pada journal bearing. Mereka mendapatkan hasil bahwa *roughness* pada *journal bearing* akan memberikan peningkatan kemampuan *bearing* dalam menahan beban yang diberikan dari poros.

Dengan pertimbangan agar hasil simulasi mendekati kondisi nyata, maka penting untuk menyertakan fenomena kavitasi untuk meningkatkan akurasi dari hasil simulasi. Hal ini dikarenakan kavitasi hampir dipastikan terjadi karena adanya geometri konvergen dan divergen. Kavitasi adalah salah satu fenomena dinamika fluida di mana rongga berisi uap terbentuk dan hancur dalam persekian detik [10].

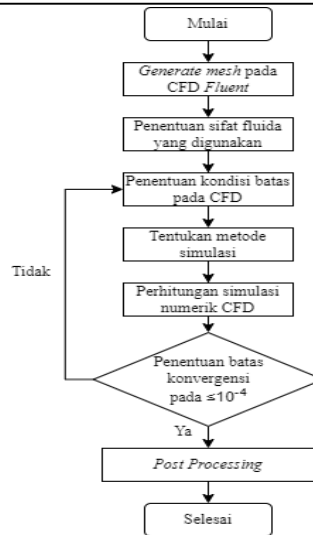
2. Bahan dan Metode Penelitian

Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah pendekatan numerik untuk memodelkan dan menganalisis aliran fluida. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang mampu untuk mengatasi masalah aliran fluida dengan menggunakan simulasi komputer berdasarkan persamaan fluida mendasar seperti persamaan kontinuitas (kekekalan massa) dan persamaan Navier-Stokes (kekekalan momentum) untuk menggambarkan aliran fluida di wilayah tertentu.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

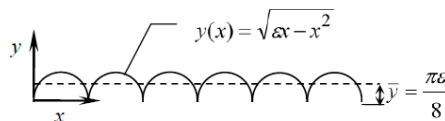
Kemudian diagram alir simulasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Alir Simulasi

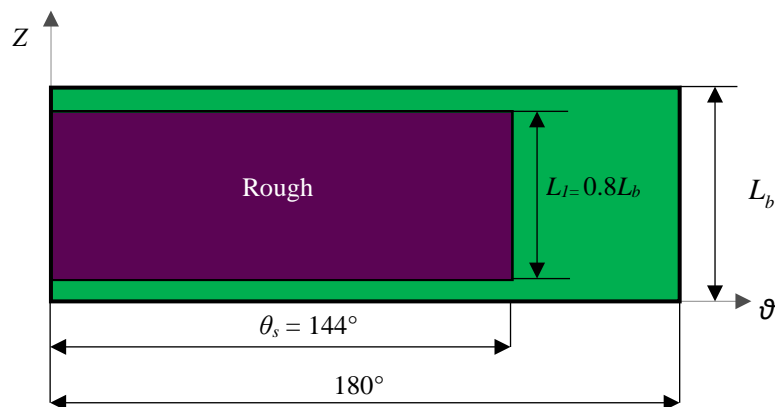
Kekasaran permukaan, sering disebut kekasaran, merupakan bagian dari tekstur permukaan. Ini diukur dengan penyimpangan vektor normal permukaan aktual dari bentuk ideal. Jika penyimpangannya besar, permukaannya kasar; jika kecil, permukaan halus. Untuk mengukur parameter kekasaran permukaan, *roughness average* (R_a) adalah yang paling umum digunakan. Parameter umum lainnya adalah *Average Maximum height of the profile* (R_z), *Root mean square roughness* (R_q), dan *Skewness* (R_{sk}). Beberapa parameter hanya digunakan dalam suatu industri tertentu atau di negara-negara tertentu. Menurut Adams dkk [11] solusi sederhana untuk masalah yang berhubungan dengan pengukuran kekasaran permukaan adalah dengan menghitung kekasaran dari hipotesis permukaan dengan mengasumsikannya terbuat dari *monolayer* dari diameter bola yang sama bersamaan dengan menggunakan teknik integrasi yang sama seperti pada perangkat lunak *profilometer* standar.

Pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh pemberian tekstur kekasaran permukaan pada *journal bearing*. Nilai kekasaran yang digunakan adalah $R_a=12.5$ dengan nilai $K_s=7.329 \times 10^{-5}$.



Gambar 2.5 Permukaan dilihat dari profilometer [11].

Pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh pemberian tekstur kekasaran permukaan pada *journal bearing*. Nilai kekasaran yang digunakan adalah $R_a=12.5$ dengan nilai $K_s=7.329 \times 10^{-5}$.



Gambar 2.6 Skema Geometri *Journal Bearing* dengan Kekasaran Permukaan

Parameter dari journal bearing, yaitu dimensi dan karakteristik fluida pelumasan diadopsi dari jurnal Dhande dan Pande [12]. Parameter journal bearing dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Parameter *Journal Bearing*

Parameter <i>journal bearing</i>	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Bearing</i>			
Diameter <i>journal</i>	D_j	50	mm
Diameter <i>bushing</i>	D_b	50.1	mm
Panjang <i>bushing</i>	L_b	25	mm
<i>Radial clearance</i>	c	0.05	mm
Rasio eksentrisitas	ϵ	0.8	-
Attitude Angle	φ	30°	-
Kecepatan putar poros	ω	4000	rpm
<i>Oil (10W40 SAE)</i>			
Massa jenis <i>oil liquid</i>	ρ_f	850	kg/m ³
Viskositas <i>oil liquid</i>	μ_o	0.0125	Pa.s
Massa jenis <i>oil vapour</i>	ρ_v	10.95	kg/m ³
Viskositas <i>oil vapour</i>	μ_v	2×10 ⁻⁵	Pa.s
Tekanan saturasi <i>vapour</i>	P_{sat}	29,185	Pa

Poros *journal bearing* bergerak dengan kecepatan ω relatif terhadap permukaan *bushing* yang diam. Simulasi dilakukan menggunakan kondisi batas *pressure-inlet* dan *pressure-outlet*. Kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kondisi Batas *Fluid Domain*

Domain	Kondisi batas	Condition
<i>Fluid</i>	<i>Inlet</i>	<i>Pressure inlet</i> (0 Pa)
	<i>Outlet</i>	<i>Pressure outlet</i> (0 Pa)
	<i>Stationary Wall</i>	-
	<i>Moving Wall</i>	4,000 rpm

Pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter untuk mengukur performa pelumasan pada *journal bearing* sebagai berikut.

a. Daya Dukung Beban (*Load Support/ Load Carrying Capacity*) didefinisikan sebagai integral dari profil distribusi tekanan seluruh area *journal bearing* dan jumlah total beban yang dapat didukung oleh distribusi ketebalan *film* pada *bearing* [13].

$$W = \iint_A p dx dy \quad (2.1)$$

b. Gaya Gesek (*Friction Force*) didefinisikan sebagai integral dari tegangan geser disepanjang permukaan *journal bearing* [13].

$$F_f = \iint_A \tau dx dz \quad (2.2)$$

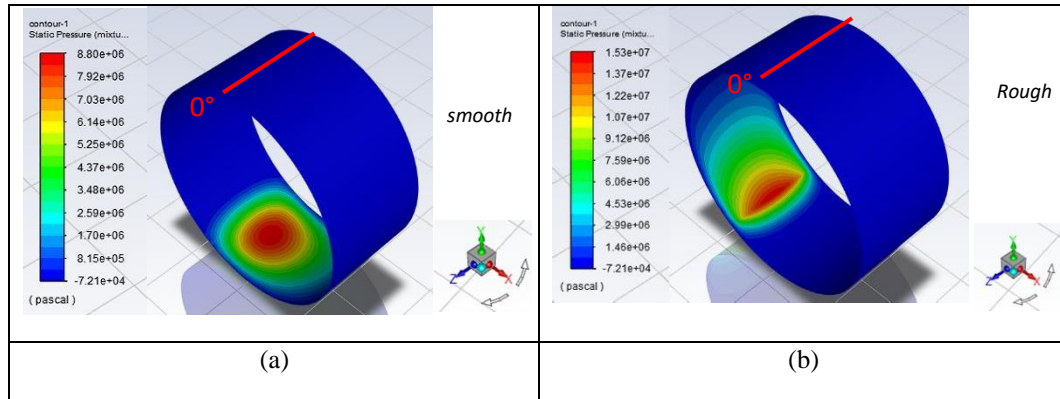
c. *Acoustic power level* dapat diketahui dengan memperhitungkan daya per satuan volume yang muncul akibat adanya aliran turbulensi fluida [13]

$$L_p (dB) = 10 \log (W / W_{ref}) \quad (2.3)$$

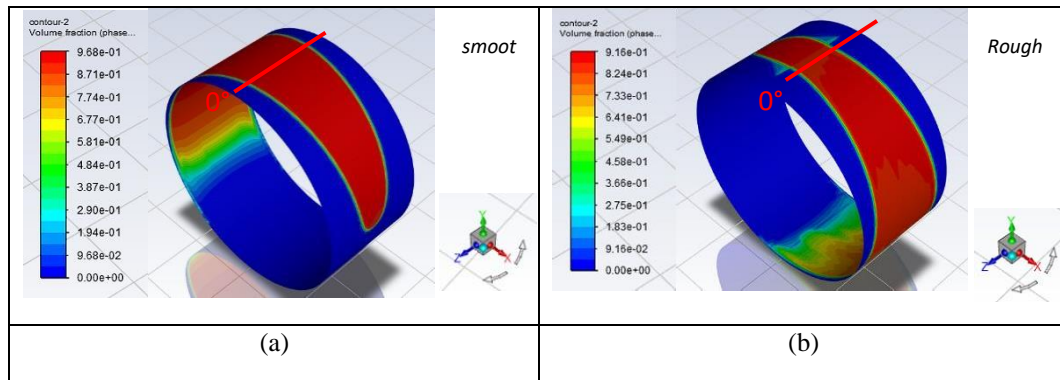
$$W = a_e \rho \epsilon \left(\frac{\sqrt{2k}}{c_0} \right)^5 \quad (2.4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pada kasus ini dilakukan simulasi menggunakan metode CFD. Pada penelitian ini akan membahas pengaruh yang diberikan pada performa *journal bearing* yang meliputi *load carrying capacity*, *acoustic power level*, dan juga *friction force*. Sebagai pembandingan, maka dilakukan pula simulasi untuk mencari performa *journal bearing* dengan permukaan *smooth*, kemudian kecepatan angular yang digunakan adalah 4000 rpm dengan rasio eksentrisitas $\epsilon = 0.8$.



Gambar 3.1 Perbandingan Kontur Distribusi Tekanan *Journal Bearing* $\epsilon = 0.8$ Newtonian: (a) $R_a = 0 \mu\text{m}$, (b) $R_a = 12.5 \mu\text{m}$



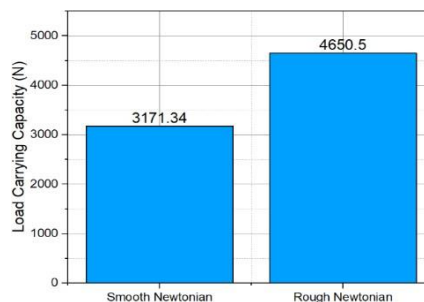
Gambar 3.2 Perbandingan Kontur *Volume Fraction Journal Bearing* $\epsilon = 0.8$ Newtonian : (a) $R_a = 0 \mu\text{m}$, (b) $R_a = 12.5 \mu\text{m}$

3.1 Hasil Simulasi kekasaran permukaan pada Performa *Journal Bearing* dengan Pelumas Newtonian

Pada bab ini akan membahas pengaruh yang diberikan kekasaran permukaan terhadap *journal bearing*. Peningkatan performa yang dibahas antara lain adalah *load carrying capacity*, *friction force*, dan *average acoustic power level*.

3.1.1 *Load Carrying Capacity*

Performa pelumasan juga dapat dilihat dari *load carrying capacity* (LCC) yang dihasilkan dari perhitungan integral tekanan di seluruh permukaan lapisan fluida. Berikut merupakan grafik *load carrying capacity* (LCC).



Gambar 3.4 Grafik Perbandingan Nilai *Load Carrying Capacity Journal Bearing* $\epsilon = 0.8$ Newtonian

4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian penelitian ini :

1. Hasil simulasi *journal bearing* menggunakan rasio kekasaran permukaan memiliki dampak signifikan pada kinerja tribologis dan akustik *journal bearing*. Adanya kekasaran permukaan menghasilkan peningkatan distribusi *pressure* dan *load carrying capacity*, dan menurunkan *friction force* yang dihasilkan. Kemudian pada *average acoustic power level*, dengan adanya kekasaran permukaan menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah dibandingkan tanpa kekasaran permukaan.
2. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kenaikan nilai *load carrying capacity* dan penurunan pada *friction force* dan *average acoustic power level* pada *journal bearing* yang diberikan variasi kekasaran $R_a = 12.5$ dengan rasio eksentrisitas 0.8 baik pada pelumasan fluida Newtonian maupun Non-Newtonian. Pada pelumasan fluida Newtonian didapatkan hasil terbaik dengan nilai *load carrying capacity* 4650.5 N, *friction force* 993.1 N, dan *average acoustic power level* 76.7 dB

5. Daftar Pustaka

- [1] T. P. Gundarneeeya and D. P. Vakharia, "Performance analysis of journal bearing operating on nanolubricants with TiO₂, CuO and Al₂O₃ nanoparticles as lubricant additives," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 5624–5630. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.350.
- [2] K. G. Ravindra, Rudresh B M, P. Kumar M K, and P. Kumar, "Optimization of design parameters to evaluate the performance of journal bearing: ANN approach," *Mater Today Proc*, vol. 54, pp. 171–178, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.205.
- [3] F. König, A. Ouald Chaib, G. Jacobs, and C. Sous, "A multiscale-approach for wear prediction in journal bearing systems – from wearing-in towards steady-state wear," *Wear*, vol. 426–427, pp. 1203–1211, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.wear.2019.01.036.
- [4] S. C. Sharma and A. Singh, "A study of double layer conical porous hybrid journal bearing operated with non-Newtonian lubricant," *Tribol Int*, vol. 179, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.triboint.2022.108183.
- [5] H. Jiang *et al.*, "The tribological performance evaluation of steel-steel contact surface lubricated by polyalphaolefins containing surfactant-modified hybrid MoS₂/h-BN nano-additives," *Wear*, vol. 504–505, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.wear.2022.204426.
- [6] Z. Rasep, M. N. A. W. Muhammad Yazid, and S. Samion, "Lubrication of textured journal bearing by using vegetable oil: A review of approaches, challenges, and opportunities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 146, Elsevier Ltd, Aug. 01, 2021. doi: 10.1016/j.rser.2021.111191.
- [7] S. K. Pradhan, R. Kumar, and P. C. Mishra, "Material modeling and optimization of rough elliptic bore journal Bearing," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 1021–1027. doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.174.
- [8] N. Ding, H. Li, Z. Yin, and F. Jiang, "A novel method for journal bearing degradation evaluation and remaining useful life prediction under different working conditions," *Measurement (Lond)*, vol. 177, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2021.109273.
- [9] M. Tauvqiirrahman, E. Yohana, Paryanto, Jamari, F. S. Muslim, and P. W. Anggoro, "Investigation on acoustic, thermal, and tribological properties of hydrodynamic journal bearing with heterogeneous rough/smooth surface," *Results in Engineering*, vol. 18, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101112.
- [10] P. Divekar *et al.*, "Experimental investigation of hydrodynamic cavitation of single and multiple hole orifice for wastewater treatment," *Mater Today Proc*, vol. 72, pp. 1841–1846, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.09.601.
- [11] T. Adams, C. Grant, and H. Watson, "A Simple Algorithm to Relate Measured Surface Roughness to Equivalent Sand-grain Roughness," *International Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, vol. 1, no. 1, 2012, doi: 10.11159/ijmem.2012.008.
- [12] D. Y. Dhande and D. W. Pande, "A two-way FSI analysis of multiphase flow in hydrodynamic journal bearing with cavitation," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, no. 9, pp. 3399–3412, Sep. 2017, doi: 10.1007/s40430-017-0750-8.
- [13] F. Meng, Z. Wei, D. Minggang, and G. Gao, "Study of acoustic performance of textured journal bearing," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 230, no. 2, pp. 156–169, Feb. 2016, doi: 10.1177/1350650115594406.